

# Perancangan *Battery Control Unit* (BCU) Dengan Menggunakan Topologi *Cuk Converter* Pada Instalasi Tenaga Surya

Annisa Triandini, Soeprapto, dan Mochammad Rif'an

**Abstrak**—Energi matahari merupakan energi terbarukan yang cukup melimpah persediaannya di Indonesia, sehingga dapat dimanfaatkan khususnya pada daerah yang belum terjangkau listrik. Dalam memanfaatkan energi listrik dibutuhkan panel surya yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik dan baterai sebagai media penyimpanan energi tersebut. Namun, intensitas cahaya matahari yang berubah-ubah dapat menyebabkan baterai cepat rusak karena arus dan tegangan yang masuk ke baterai tidak konstan. Untuk itu penulis merancang dan membuat *Battery Control Unit* (BCU) agar tegangan dan arus yang masuk ke baterai relatif konstan.

Dalam perancangan BCU menggunakan topologi *Cuk Converter* yang dapat menaikkan dan menurunkan tegangan sumber dengan mengubah-ubah *duty cycle*, dan dapat mengurangi *ripple* pada keluaran panel surya dan masukan untuk baterai. Tegangan sumber akan turun jika nilai *duty cycle* kurang dari 50% dan akan naik jika nilai *duty cycle* lebih dari 50%. Pada saat tegangan baterai di bawah tegangan baterai penuh BCU menggunakan metode arus konstan dan saat tegangan baterai mencapai tegangan baterai penuh menggunakan metode tegangan konstan.

**Kata kunci**— *Battery Control Unit*, *Cuk Converter*, panel surya.

## I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan manusia yang tidak dapat diabaikan yang semakin lama semakin meningkat permintaannya. Misalnya, untuk lampu penerangan, televisi, AC, dll. Semakin banyak penggunaan listrik, semakin tinggi pula biaya yang harus dikeluarkan untuk energi listrik tersebut. Oleh karena itu, diperlukan energi alternatif agar biaya pengeluaran semakin berkurang. Salah satu energi alternatif yang dapat dimanfaatkan, yaitu energi matahari. Energi matahari merupakan energi terbarukan yang cukup melimpah persediaannya di Indonesia, karena Indonesia adalah daerah tropis yang intensitas matahari cukup tinggi sepanjang tahunnya. Energi matahari ini juga dapat dimanfaatkan pada daerah yang

belum terjangkau sumber listrik.

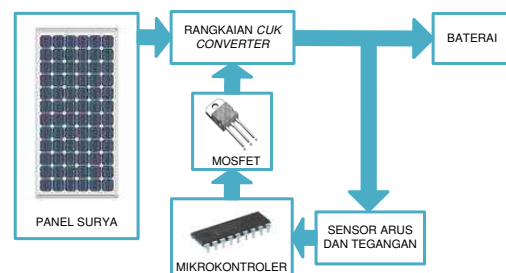
Dalam pemanfaatan energi listrik ini, dibutuhkan alat yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik, yaitu panel surya. Namun, menggunakan panel surya ini tidak dapat berdiri sendiri, diperlukannya instalasi listrik tenaga surya. Instalasi listrik tenaga surya tersebut terdiri dari panel surya, baterai dan inverter. Keunggulan dalam menggunakan instalasi listrik tenaga surya ini adalah perawatan yang mudah, harganya relatif murah, serta ramah lingkungan. Namun, intensitas cahaya matahari yang berubah-ubah dapat menyebabkan baterai cepat rusak, karena tegangan dan arus yang masuk ke baterai tidak konstan. Untuk itu dibutuhkan *Battery Control Unit* (BCU) agar tegangan dan arus yang masuk ke baterai relatif konstan.

Mengingat pentingnya peranan BCU pada instalasi listrik tenaga surya, dibutuhkan suatu metode pada BCU yang lebih adaptif terhadap perubahan tegangan yang dihasilkan oleh panel surya. Topologi *Buck Converter*, *Boost Converter*, *Buck Boost Converter*, *Cuk Converter* dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan ini.[1]

Dalam skripsi ini, menggunakan topologi *Cuk Converter* karena dapat menaikkan dan menurunkan tegangan sumber, sehingga dapat bekerja pada berbagai *range* tegangan masukan. Selain itu kelebihan dari rangkaian ini dapat mengurangi *ripple* pada keluaran panel surya dan masukan untuk baterai. *Ripple* tegangan menyebabkan tegangan akan lama mencapai konstan, sehingga dapat merusak baterai.

## II. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Perancangan dan pembuatan alat dapat dirangkum dalam sebuah diagram blok seperti yang ditunjukkan Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Keluaran dari panel surya berupa arus dan tegangan. Arus dan tegangan akan mengalir melalui rangkaian *Cuk Converter*. Rangkaian *Cuk Converter* akan menaikkan atau menurunkan tegangan masukan dengan

Annisa Triandini adalah mahasiswa program sarjana Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (penulis dapat dihubungi melalui email: annisa.triandini@gmail.com).

Soeprapto dan Mochammad Rif'an adalah staf pengajar program sarjana Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (email: prapto1056@gmail.com; rif\_an91@yahoo.com).

mengubah-ubah nilai *duty cycle*. Komponen pensaklaran yang akan digunakan pada rangkaian ini adalah mosfet daya. Perubahan *duty cycle* akan diatur oleh mikrokontroler sesuai dengan pembacaan sensor arus dan sensor tegangan. Sensor arus akan mendeteksi arus pengisian baterai. Sensor arus akan memberi perintah ke mikrokontroler untuk menambah atau mengurangi nilai *duty cycle* agar arus yang masuk baterai tetap konstan. Sensor tegangan berfungsi mendeteksi tegangan baterai sudah penuh. *Duty cycle* akan membuat tegangan keluaran dari *Cuk Converter* tetap konstan sesuai dengan tegangan baterai penuh agar tidak terjadi pengisian baterai.

#### A. Pemodelan Panel Surya

Dalam perancangan BCU dibutuhkan beberapa parameter. Parameter panel surya dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL 1  
PARAMETER PANEL SURYA

Parameter Panel Surya	Nilai
Maximum Power (Pmax)	75 Watt-Peak
Short Circuit Current (Isc)	4,72 Ampere
Maximum Power Current (Impp)	4,29 Ampere
Open Circuit Voltage (Voc)	21,5 Volt
Nominal Voltage (Vmpp)	17,5 Volt
Fill Factor (FF)	0,74

#### B. Perancangan Cuk Converter

*Cuk Converter* merupakan rangkaian yang dapat menaikkan atau menurunkan tegangan dari tegangan masukan. Rangkaian *Cuk Converter* terdiri dari 2 kapasitor ( $C_1$  dan  $C_2$ ) dan 2 buah induktor ( $L_1$  dan  $L_2$ ).

##### 1) Pemilihan Induktor

Ukuran induktor ditentukan dengan perubahan arus induktor tidak lebih dari 5% dari arus induktor rata-rata. Untuk persamaan induktor  $L$  :

$$L = \frac{V_{in} \cdot D}{\Delta i_L \cdot f} \quad (1)$$

Dengan  $V_{in}=V_{mpp}$ ,  $D=0.45$  saat kondisi  $V_{mpp}$ , ripple arus sebesar 0,2145 ampere dan frekuensi yang digunakan 50kHz, maka didapatkan nilai  $L_1=0,73$  mH dan nilai  $L_2=0,63$ mH.

##### 2) Pemilihan Kapasitor

Untuk mendesain kapasitor dengan *ripple* tegangan tidak lebih dari 5%. Tegangan rata-rata yang melewati kapasitor ( $C_1$ ) :

$$V_{C1} = V_{in} + V_{out} \quad (2)$$

Untuk *ripple* tegangan maksimum :

$$\Delta V_{C1} = 5 \% \times V_{C1} \quad (3)$$

Dengan nilai  $V_o=14,4$  volt, nilai tegangan maksimum yang diijinkan masuk baterai dan  $P_o$  daya maksimum dari panel surya. Persamaan R pengganti beban :

$$R = \frac{V_o^2}{P_o} \quad (4)$$

Berikut persamaan untuk mencari nilai kapasitor  $C_1$  :

$$C_1 = \frac{V_o \cdot D}{R \cdot f \cdot \Delta V_{C1}} \quad (5)$$

Dari Persamaan (5) didapatkan nilai  $C_1=30 \mu F$ , dipilih  $33 \mu F$  karena tidak tersedia di pasaran.

Nilai kapasitor  $C_2$  dihitung dengan persamaan berikut.

$$C_2 = \frac{1-D}{8 \cdot L_2 \cdot \frac{\Delta V_o}{V_o} \cdot f^2} \quad (6)$$

Didapatkan nilai  $C_2=0,87 \mu F$ , dipilih  $1 \mu F$ , karena tidak tersedia di pasaran.

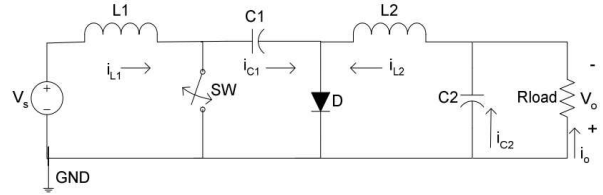
#### 3) Pemilihan Dioda

Dalam pemilihan dioda dipilih dioda *Schottky* karena dioda jenis ini memiliki tegangan maju yang rendah dan memiliki *reverse recovery time* yang cepat. Pada perancangan ini dipilih dioda yang tersedia di pasaran, yaitu dioda tipe 6A05 MIC. Dioda ini mampu melewatkan arus sebesar 6 ampere dan tegangan 50 volt.

#### 4) Pemilihan MOSFET

Mosfet daya biasanya digunakan untuk aplikasi yg mempunyai daya rendah. Tegangan mosfet mencapai 21,5 volt, dilihat dari tegangan maksimum dari panel surya. Untuk itu menggunakan mosfet yang tersedia di pasaran dan sesuai dengan yang dibutuhkan, yaitu mosfet tipe IRFP460 dengan nilai  $I_D=20$  ampere  $V_{DS}=500$  volt.

Rangkaian keseluruhan dari *Cuk Converter* ditunjukkan pada Gambar 2.[2]



Gambar 2. Rangkaian Cuk Converter

#### C. Perancangan Pulse Width Modulation (PWM)

Gelombang PWM dioperasikan *Fast Correct PWM mode*. Frekuensi yang dibutuhkan 50.000 Hz dengan komponen *crystal* yang terpasang pada mikrokontroler sebesar 16 MHz serta *prescaler* (N) sebesar 1, maka didapatkan nilai TOP sesuai Persamaan (7).

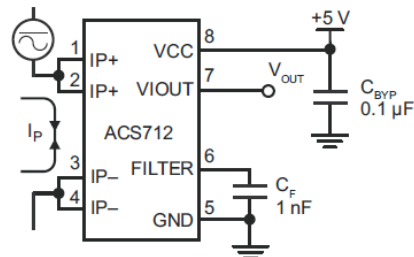
$$(TOP + 1) = \frac{f_{clk1/O}}{N \times f_{PWM}} \quad (7)$$

Maka didapatkan nilai TOP sebesar 319.

#### D. Perancangan Sensor Arus

Rangkaian sensor arus untuk membaca arus keluaran rangkaian *Cuk Converter* yang masuk ke baterai terdiri dari sensor arus.

Sensor arus yang digunakan adalah sensor arus ACS712 dari *Allegro MicroSystem*. Sensor ini dapat membaca arus DC maupun arus AC dengan *range* arus dari -20 sampai 20 ampere, serta memiliki impedansi yang kecil yaitu 1,2 mΩ, sehingga *losses* dari sensor arus ini kecil. Sensor arus ini mengeluarkan tegangan dari 0-5 volt, untuk *range* arus -20 sampai dengan 20

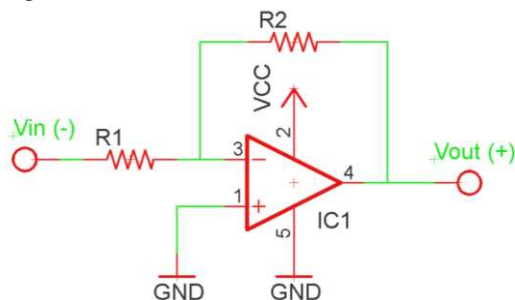


Gambar 3. Rangkaian Sistem Minimum Sensor Arus ACS712 [3]  
ampere, maka saat arus bernilai 0 ampere, tegangan keluaran dari sensor adalah 2,5 volt, sedangkan saat

arus bernilai 5 ampere tegangan keluaran dari sensor adalah 3 volt.

#### E. Perancangan Pembalik Polaritas

Rangkaian *Cuk Converter* memiliki polaritas tegangan keluaran yang terbalik dari tegangan masukannya. Sedangkan mikrokontroler tidak bisa membaca tegangan yang bernilai negatif, sehingga dibutuhkan rangkaian pembalik polaritas yang terdiri dari *Operational Amplifier* LM311p. Tegangan keluaran maksimum dari *Cuk Converter* sebesar 14,4 volt, sehingga dibutuhkan rangkaian pembagi tegangan yang terdiri 2 buah resistor. Gambar 4 menunjukkan rangkaian pembalik polaritas sekaligus pembagi tegangan.



Gambar 4. Rangkaian Pembalik Polaritas dan Pembagi Tegangan

Perhitungan untuk 2 buah resistor pembagi tegangan, dapat dilihat pada Persamaan (7).

$$V_{out} = -\left(\frac{R_2}{R_1} \times V_{in}\right) \quad (7)$$

Sehingga nilai R1 dan R2 yang dipakai untuk pembagi tegangan sebesar 100kΩ dan 35kΩ.

#### F. Perancangan Metode

Dalam merancang dan membuat BCU dibutuhkan beberapa metode. Metode-metode yang digunakan berfungsi agar proses pengisian baterai dapat berjalan dengan cepat dan baterai tidak cepat rusak.

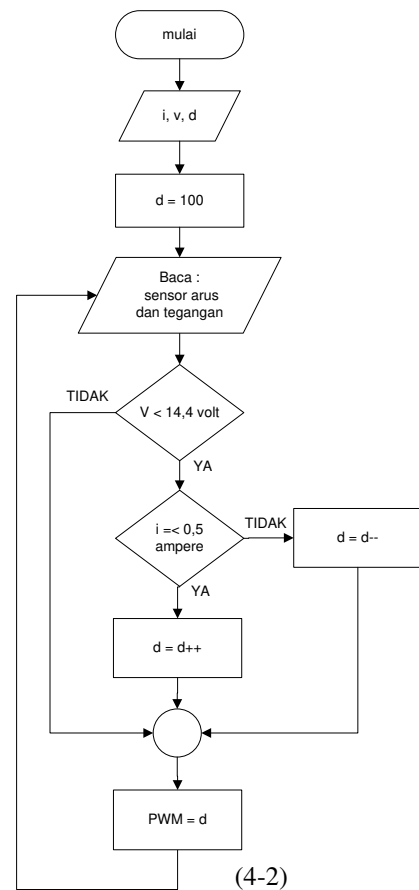
##### 1) Metode Arus Konstan [4]

Metode ini digunakan saat tegangan baterai kurang dari tegangan baterai penuh, yaitu kurang dari 14,4 volt. Pada metode ini bekerja terhadap perubahan tegangan baterai, sehingga apabila tegangan baterai berubah-ubah, arus pengisian baterai akan tetap konstan. Namun ketika tegangan baterai mendekati tegangan penuh baterai, maka arus pengisian baterai akan berkurang sesuai dengan tegangan keluaran dari *Cuk Converter* maksimum. Saat pengisian baterai tidak hanya menggunakan metode arus konstan saja, perlu ditambah dengan metode lain.

##### 2) Metode Tegangan Konstan [4]

Metode tegangan konstan digunakan saat tegangan baterai penuh, yaitu 14,4 volt. Metode ini diterapkan setelah metode arus konstan. Saat tegangan baterai mencapai 14,4 volt, maka tegangan keluaran *Cuk Converter* dibuat konstan, agar proses pengisian baterai berhenti. Apabila tegangan baterai kembali berkurang, maka menerapkan metode arus konstan kembali.

Diagram alir dari proses pengisian baterai ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Alir Proses Pengisian Baterai

### III. PENGUJIAN DAN ANALISIS

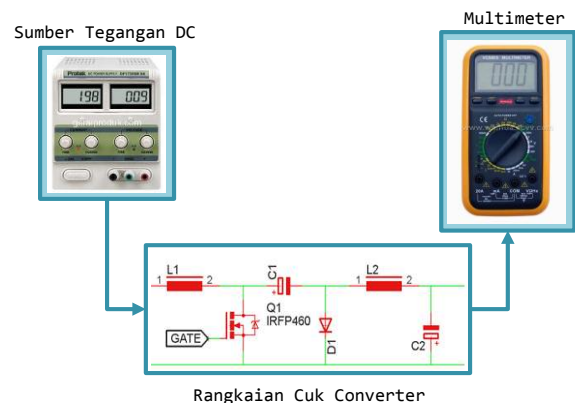
Pengujian dan analisis dilakukan agar mengetahui apakah sistem dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan.

#### A. Pengujian Rangkaian *Cuk Converter*

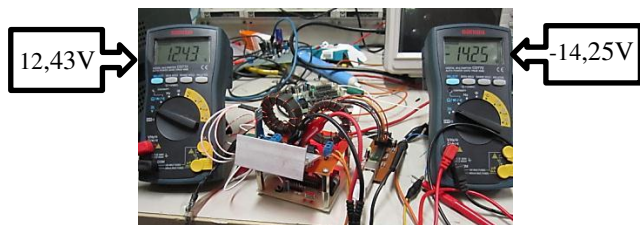
Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan rangkaian pada Gambar 6.

Pengujian ini melihat kerja dari rangkaian *Cuk Converter* dalam menurunkan dan menaikkan tegangan. Gambar 7 menunjukkan hasil pengujian rangkaian *Cuk Converter* dengan menaikkan tegangan 12,43 volt menjadi -14,25 volt.

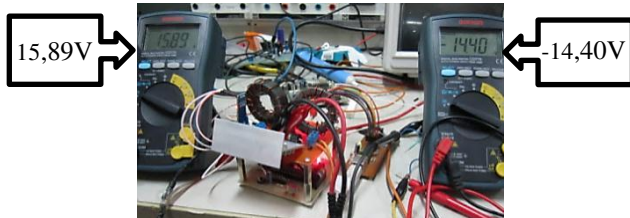
Gambar 8 menunjukkan hasil pengujian rangkaian *Cuk Converter* dalam menurunkan tegangan dari 15,89 volt menjadi -14,40 volt.



Gambar 6. Rangkaian Pengujian *Cuk Converter*



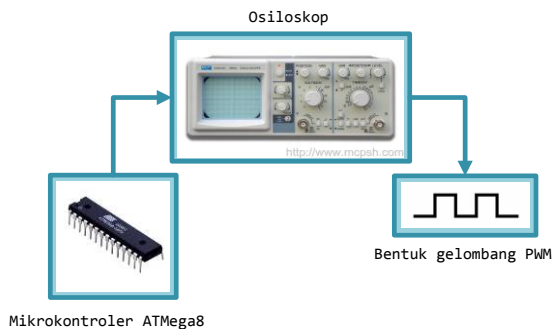
Gambar 7. Hasil Pengujian Menaikkan Tegangan



Gambar 8. Hasil Pengujian Menurunkan Tegangan

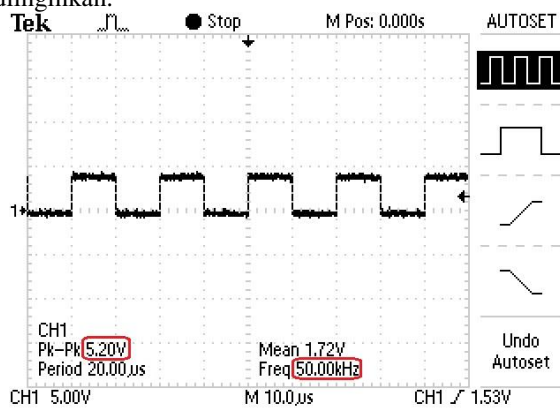
### B. Pengujian Pulse Width Modulation (PWM)

Pengujian ini bertujuan melihat bentuk gelombang PWM dan frekuensi yang diinginkan rangkaian *Cuk Converter*. Gambar 9 menunjukkan rangkaian pengujian PWM.



Gambar 9. Rangkaian Pengujian PWM

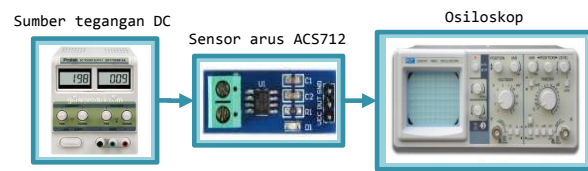
Hasil pengujian PWM ditunjukkan pada Gambar 10 dengan *duty cycle* sebesar 50%. Hasil pengujian PWM sudah bisa menghasilkan frekuensi sebesar 50kHz, sehingga pengujian PWM sudah sesuai dengan yang diinginkan.



Gambar 10. Hasil Pengujian PWM

### C. Pengujian Sensor Arus

Pengujian bertujuan untuk mengetahui apakah sensor arus dapat membaca arus keluaran dari rangkaian *Cuk Converter*. Gambar 11 menunjukkan rangkaian pengujian sensor arus. Dan Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian sensor arus.



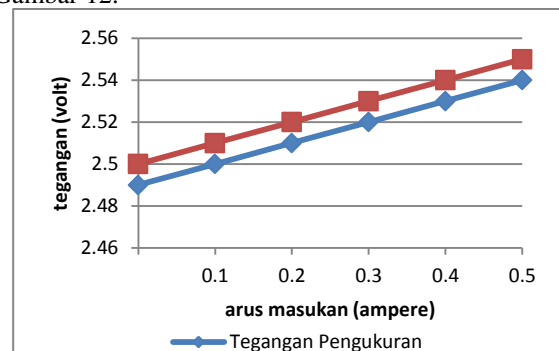
Gambar 11. Rangkaian Pengujian Sensor Arus

TABEL 2  
HASIL PENGUJIAN SENSOR ARUS

No.	Arus Masukan (ampere)	Tegangan Keluaran (volt)	Tegangan Sesuai Datasheet (volt)	Kesalahan (%)
1.	0	2,49	2,50	0,4
2.	0,1	2,50	2,51	0,4
3.	0,2	2,51	2,52	0,4
4.	0,3	2,52	2,53	0,4
5.	0,4	2,53	2,54	0,4
6.	0,5	2,54	2,55	0,4

Pada Tabel 2 rata-rata kesalahan dari sensor arus ACS712 sebesar 0,4 %, sedangkan pada *datasheet* kesalahan pembacaan maksimum 1,5 %, sehingga sensor ini masih bisa digunakan. Kesalahan pembacaan sensor tersebut diakibatkan tegangan sumber yang kurang stabil.

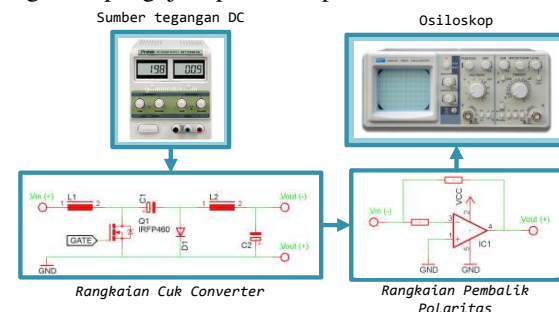
Grafik pengujian sensor arus ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik Pengujian Sensor Arus

### D. Pengujian Pembalik Polaritas

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah rangkaian pembalik polaritas dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Gambar 13 menunjukkan rangkaian pengujian pembalik polaritas.



Gambar 13. Rangkaian Pengujian Pembalik Polaritas

Gambar 14 menunjukkan masukan dari rangkaian pembalik polaritas sebesar -14,41 volt dan menghasilkan tegangan sebesar +4,96 volt. Tegangan yang dihasilkan rangkaian pembalik polaritas masih di bawah batas yang diijinkan masuk mikrokontroler



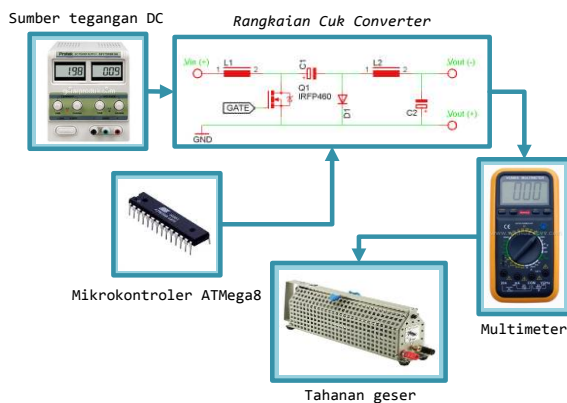


Gambar 14. Hasil Pengujian Pembalik Polaritas dan Pembagi Tegangan

dan bernilai positif, sehingga dapat disimpulkan bahwa rangkaian pembalik polaritas dapat bekerja sesuai dengan yang diinginkan.

#### E. Pengujian Metode Arus Konstan

Pengujian dilakukan dengan menghubungkan seperti Gambar 15.



Gambar 15. Rangkaian Pengujian Metode Arus Konstan

Pengujian ini bertujuan mengetahui proses pengisian baterai dengan arus konstan. Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian metode arus konstan.

TABEL 3  
HASIL PENGUJIAN METODE ARUS KONSTAN

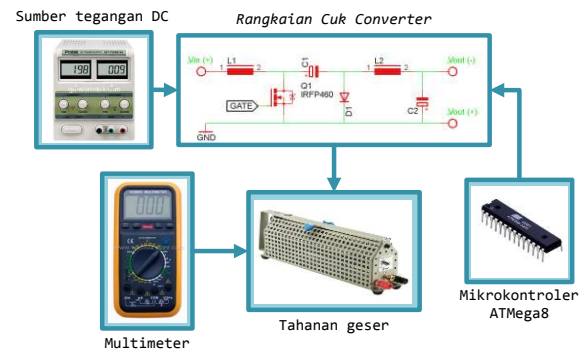
No.	Tegangan Masukan (volt)	Duty cycle (%)	Arus Keluaran (ampere)
1.	12,5	62,70	0,50
2.	13,5	57,37	0,49
3.	14,5	54,23	0,50
4.	15,5	52,66	0,49
5.	16,5	51,10	0,50
6.	17,5	49,84	0,49
7.	18,5	47,96	0,50
8.	19,5	46,71	0,50
9.	20,5	46,08	0,51
10.	21,5	44,51	0,50

Pada Tabel 3 menunjukkan bahwa arus keluaran dari rangkaian *Cuk Converter* yang masuk ke baterai tetap konstan dengan perubahan tegangan masukan. Arus yang masuk ke baterai tetap konstan karena perubahan dari *duty cycle*.

#### F. Pengujian Metode Tegangan Konstan

Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan rangkaian sesuai Gambar 16.

Pengujian ini melihat kerja metode tegangan konstan dapat diterapkan pada baterai yang sudah penuh. Dengan memberikan berbagai nilai tegangan masukan. dan tegangan beban akan konstan sebesar  $\pm 14,4$  volt. Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian metode tegangan konstan.



Gambar 16. Rangkaian Pengujian Metode Tegangan Konstan

TABEL 4  
HASIL PENGUJIAN METODE TEGANGAN KONSTAN

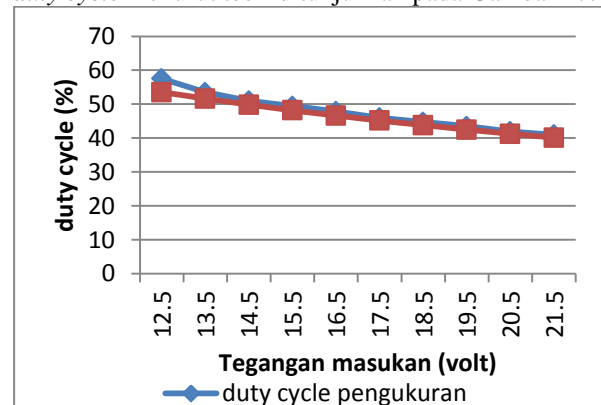
Tegangan Masukan (volt)	Duty Cycle		Tegangan Keluaran (volt)	Kesalahan (%)
	Pengukuran (%)	Teori (%)		
12,5	57,25	53,62	-14,45	3,63
13,5	53,50	51,63	-14,41	1,87
14,5	51,00	49,83	-14,40	1,17
15,5	49,44	48,13	-14,38	1,31
16,5	47,88	46,65	-14,43	1,22
17,5	46,00	45,18	-14,42	0,82
18,5	44,75	43,79	-14,41	0,96
19,5	43,50	42,46	-14,39	1,04
20,5	41,94	41,24	-14,39	0,69
21,5	41,00	40,24	-14,48	0,76

Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel 4 rangkaian *Cuk Converter* memiliki kesalahan rata-rata sebesar 1,35%. Nilai *duty cycle* teori dapat dihitung dengan Persamaan (8) berikut.

$$duty\ cycle_{teori} = \frac{V_o}{V_s + V_o} \times 100\% \quad (8)$$

Dengan nilai  $V_o = 14,4$  volt, dan  $V_s =$  tegangan masukan.

Grafik antara *duty cycle* yang terukur dengan nilai *duty cycle* menurut teori ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 17. Grafik Duty Cycle Menurut Pengukuran dan Teori

#### G. Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian ini dilakukan dengan merangkai semua sub sistem sesuai dengan diagram blok alat dalam perancangan. Pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan yang berubah-ubah pada rangkaian *Cuk Converter*, kemudian akan terukur tegangan dan arus yang melalui beban, untuk melihat nilai dari *duty cycle* dipasang LCD agar lebih mudah dalam pengambilan data.

Tabel 5 menunjukkan bahwa alat dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan yang diharapkan dalam

perancangan. Pada saat tegangan baterai di bawah 14,4 volt, metode yang dipakai adalah metode arus konstan, apabila baterai sudah mendekati tegangan penuh, maka metode yang digunakan adalah metode tegangan konstan. Hal ini dimaksudkan agar baterai dapat terisi dengan waktu yang singkat dan dapat merawat baterai agar tidak cepat rusak.

TABEL 5  
HASIL PENGUJIAN SISTEM KESELURUHAN

Teg. Masuk (volt)	Arus Masuk (ampere)	Duty cycle (%)	Teg. Keluar (volt)	Arus Keluar (ampere)	Metode	
					Arus Konstan	Teg. Konstan
12,5	1,88	57,92	11,20	0,51	X	
13,5	1,74	54,16	11,28	0,49	X	
14,5	1,80	51,69	11,55	0,52	X	
15,5	1,89	50,09	12,89	0,50	X	
16,5	0,56	48,53	13,56	0,26		X
17,5	0,44	46,99	13,80	0,22		X
18,5	0,41	45,49	13,98	0,22		X
19,5	0,34	44,23	14,04	0,15		X
20,5	0,30	43,09	14,13	0,10		X
21,5	0,21	41,87	14,15	0,08		X

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

##### A. Kesimpulan

- Battery Control Unit* (BCU) menggunakan topologi *Cuk Converter* yang mampu menaikkan dan menurunkan tegangan. Rangkaian *Cuk Converter* yang digunakan dalam sistem memiliki persentase kesalahan sebesar 1,35 %. Hal ini disebabkan karena pemilihan komponen yang kurang tepat. Namun, rangkaian *Cuk Converter* masih dapat berfungsi dengan baik, karena memiliki persentase kesalahan yang relatif kecil.
- Komponen pensaklaran menggunakan mosfet daya dengan nilai *duty cycle* yang berubah-ubah. Mikrokontroler ATmega8 digunakan sebagai pengatur *duty cycle* yang dibutuhkan rangkaian *Cuk Converter* dalam menaikkan atau menurunkan tegangan keluaran.
- Metode yang digunakan dalam sistem ini menggunakan metode arus konstan saat tegangan baterai di bawah tegangan baterai penuh, dan menggunakan metode tegangan konstan saat tegangan baterai mencapai tegangan baterai penuh.

##### B. Saran

Pemilihan komponen dan metode pengisian baterai dalam merancang *Battery Control Unit* (BCU) sangatlah perlu diperhatikan, oleh karena itu beberapa saran dalam skripsi ini antara lain :

- Pemilihan dan pembuatan induktor sebaiknya menggunakan alat yang canggih dan diperlukan tes frekuensi agar dapat memperkecil persentase kesalahan.
- Memperbaiki metode yang digunakan, sehingga daya yang didapat dari energi matahari tidak banyak terbuang.

#### V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rashid, Muhammad H. 1988. *Power Electronics Circuits, Devices and Applications*. New Jersey: Prentice-Hall International.
- [2] Oi, Akihiro. 2005. *Design And Simulation Of Photovoltaic Water Pumping System*. Tesis tidak dipublikasikan. San Luis Obispo: California Politechnic State University.
- [3] Allegromicro. 2006. *ACS712, Fully Integrated, Half Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*. Massachusetts: Allegromicro.
- [4] Sugiarto, I. & Lauw Lim Un Tung. *Smart Charger NiCd Dan NiMh Dengan Teknik Pengisian Pulsa*. Makalah dalam Auditorium Universitas Gunadarma. KOMMIT2004. Jakarta, 24-25 Agustus 2004.

**Annisa Triandini**, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2013, Perancangan *Battery Control Unit* (BCU) Dengan Menggunakan Topologi *Cuk Converter* Pada Instalasi Listrik Tenaga Surya, Dosen Pembimbing: Ir. Soeprapto, MT. dan Mochammad Rif'an, ST., MT.